

## Risques agro-météorologiques et production du riz pluvial (*Oryza* spp.) au Bénin

Moudjahid Akorédé Wabi<sup>(1,2)\*</sup>, Wouter Vanhove<sup>(1)</sup>, Rodrigue Idohou<sup>(2,3)</sup>, Achille Hounkpèvi<sup>(2)</sup>, Romain Lucas Glèlè Kakai<sup>(2)</sup>, Patrick Van Damme<sup>(1,4)</sup>

### Abstract

L'irrégularité des pluies et la baisse pluviométrique constituent des préoccupations majeures pour les producteurs de riz pluvial. Cette étude avait pour objectif de mettre en évidence les variabilités et tendances des débuts et fins des pluies ainsi que de la pluviométrie totale sur une période de 46 ans dans les localités de Glazoué, Malanville et Tanguiéta (Bénin) afin de déterminer les dates favorables aux semences de riz pluvial. Pour ce faire, les données pluviométriques journalières (1970-2016) de trois stations météorologiques situées dans ces localités ont été collectées à l'Agence Météorologique du Bénin. Les statistiques descriptives ont permis de comparer les variabilités pluviométriques. Les tendances ont été évaluées par le test de Mann-Kendall et la pente de Sen. Les probabilités de survenue des séquences sèches ont été calculées en utilisant la chaîne de Markov d'ordre 1. Il ressort de cette étude une variabilité importante des débuts des pluies avec des tendances tardive (4%) et précoce (17%), contrairement à la variabilité faible des fins. Les dates du 9 mai au 3 juillet restent favorables aux semences du riz pluvial à Tanguiéta. Aucune date n'a été favorable aux semences du riz pluvial à Glazoué et Malanville, du fait des probabilités très élevées (0,7 à 1) des séquences sèches (> 5 jours) préjudiciables à la floraison et compromettant sa productivité. Ces résultats confortent les riziculteurs dans la production des variétés à cycle court < 100 jours et permettent de les orienter dans le choix des dates de semis ainsi que celui des variétés adaptées de riz pluvial.

**Mots-clés.** Riz pluvial ; tendances climatiques ; chaîne de Markov ; séquences sèches ; calendrier cultural.

### Résumé

**Title: Agro-climatic risks and producing of rainfed rice (*Oryza* spp.) in Benin**

Irregular and reduced rainfall are major concerns for rainfed rice producers. The objective of this study was to analyze the yearly variability and trends of the onset and the end of rains as well as of total rainfall over a period of 46 years in Glazoué, Malanville and Tanguiéta (Benin) in order to better determine the appropriate dates for rainfed rice sowing. For this purpose, daily rainfall data (1970-2016) were collected from three weather stations located in these localities from the Benin National Weather Agency. Descriptive statistics were used to compare rainfall variability. Trends were assessed by Mann-Kendall test and Sen's Slope. The probabilities of occurrence of a dry period were calculated using the Markov chain of order 1. Unlike the end of the rains, where little variability was observed, a significant variability in the onset of rains with late (4%) and early (17%) trends was found. Depending on the rice variety, the period from 9 May to 3 July is appropriate for rainfed rice sowing in Tanguiéta. In the case of, Glazoué and Malanville, no appropriate date for rainfed rice sowing was observed, due to the very high probabilities (0.7 to 1) of dry period (> 5 days) at flowering stage, which compromising its productivity. These results should encourage rice producers to grow varieties with short < 100 days maturing dates and can guide them in the choice of suitable planting dates and suitable varieties of rainfed rice.

**Keywords:** Rainfed rice; climatic trends; Markov chain; dry period; cultural calendar.

<sup>1</sup>Laboratory of Tropical and Subtropical Agriculture, and Ethnobotany (LTSAE), Faculty of Bioscience Engineering, Ghent University, Coupure Links 653, 9000 Ghent, Belgium

<sup>2</sup>Laboratoire de Biomathématiques et d'Estimations Forestières, Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, 04 BP 1525 Cotonou, Bénin

<sup>3</sup>Ecole de Gestion et de Production Végétale et Semencière, Université Nationale d'Agriculture, BP 43 Kétou, Bénin

<sup>4</sup>Faculty of Tropical AgriSciences, Czech University of Life Sciences, Prague, Kamycka 129, 165 21 Prague 6-Suchdol, Czech Republic

\*Auteur correspondant: [wmouako@yahoo.fr](mailto:wmouako@yahoo.fr)

### INTRODUCTION

L'irrégularité des pluies et la baisse pluviométrique constituent des préoccupations majeures pour les producteurs du riz pluvial (*Oryza* spp.) en Afrique Sub-saharienne (Nyadzi et al., 2019 ; Arouna et al., 2021). Cette situation est très préoccupante dans la mesure où les faibles précipitations annuelles, l'occurrence des épisodes secs et le raccourcissement de la saison des pluies perturbent le cycle végétatif des cultures et affectent considérablement leurs rendements. Les études sur la variabilité des pluies en général et celle des débuts et fins des pluies ainsi que leurs tendances revêtent une importance capitale pour mieux situer les bonnes dates de semis du riz pluvial (Niang et al., 2018 ; Serpantié et al., 2019).

Les études sur les débuts et fins des pluies, largement reconnues et utilisées aux fins agro-météorologiques en Afrique (Ouest, Est et Nord) ont été documentées par Stern et al. (1982) et Kniveton et al. (2008). Dans certaines régions d'Afrique de

l'Ouest à climats sahélien ou soudanien, Sivakumar (1988) a défini la date du début des pluies comme étant une hauteur de pluie d'au moins 20 mm enregistrée sur trois jours consécutifs non suivis de poche de sécheresse de plus de sept jours sur un intervalle de temps de 30 jours. De même, Kniveton et al. (2008) ont étudié la dynamique de variation des dates de début des pluies à travers le continent Africain en utilisant trois différents seuils pluviométriques (10, 20 et 30 mm) enregistrés sur deux jours consécutifs non suivis d'épisode de sécheresse d'au plus dix jours.

Après le semis, les séquences sèches (deux semaines ou plus) sont très désastreuses pour la germination et le bon développement d'une plantule (Laux et al., 2008 ; Sarr et al., 2011). Les séquences sèches entre le début et la fin des pluies constituent des risques majeurs en agriculture et en l'occurrence en riziculture pluviale (Sarr et al., 2011; Akinseye et al., 2016). Un jour avec un cumul pluviométrique

$\leq 0,1$  mm est considéré comme un jour sans pluie (Lawin et al., 2011). En culture de riz pluvial, le déficit hydrique, du fait des séquences sèches, déclenche la fermeture des stomates, le mauvais tallage, le raccourcissement de la période de floraison, le remplissage faible des grains et la baisse du rendement (Korres et al., 2017). A la station de recherche de l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles de Sinthiou Malème, les séquences sèches ont engendré une diminution significative du nombre d'épillets produits par panicule de 108 à 76, soit une baisse de 30% et un fort taux de stérilité (86%) au niveau des variétés de NERICA 1 et NERICA 4 (Kouakou et al., 2016).

A l'instar des pays Africains, les débuts et fins des pluies sont actuellement peu prévisibles pour les producteurs de riz pluvial au Bénin (Atidegla et al., 2017); ce qui perturbera certainement le calendrier culturel du riz. Au Bénin, la riziculture pluviale représente 91% des systèmes de production du riz (Dossouhoui, 2019). Le riz est l'aliment de base de la population et sa consommation annuelle est de 45,7 kilogrammes par habitant (MAEP, 2017).

Atidegla et al. (2017) ont indiqué que 96% des riziculteurs dans les bas-fonds rizicoles de Dokomey (Sud du Bénin) identifient le démarrage de la saison des pluies, la baisse du total pluviométrique en eau et le raccourcissement de la saison pluvieuse comme des paramètres agro-météorologiques impactant la productivité du riz pluvial. Des essais conduits dans la commune de Glazoué (Centre Bénin), par Niang et al. (2018), ont démontré que les rendements de riz ont baissé de 2,9 t.ha<sup>-1</sup> en 2010 à 1,1 t.ha<sup>-1</sup> en 2013 (soit une baisse de 164%) du fait du retard du début des pluies et de la baisse du total pluviométrique en eau.

De nombreuses études ont abordé l'impact de la variabilité climatique sur les productions des cultures vivrières (maïs et sorgho) au Bénin (Kayode, 2018; MCVDD, 2019). Cependant, à ce jour, très peu de recherches ont investigué les paramètres agro-météorologiques malgré leur importance pour l'amélioration de la productivité du riz pluvial (Van Diepen & Azontonde 1979; Niang et al., 2018). Plusieurs questions de recherche restent sans réponses évidentes et méritent d'être investiguées : (i) Comment les dates du début et de la fin des pluies et la pluviométrie totale ont-elles varié au cours des années passées ? (ii) Quelles sont les dates favorables aux semences du riz pluvial dans le contexte du changement climatique ?

La présente étude se propose d'évaluer les caractéristiques de la saison pluvieuse et des risques agro-météorologiques liés à la culture du riz pluvial au Bénin. De façon spécifique, il s'agit de : (i) mettre en évidence les variabilités et tendances des dates du début et de la fin des pluies et du total pluviométrique ; et (ii) déterminer les dates favorables aux semences du riz pluvial en se basant sur des probabilités de survenue des séquences sèches. Les résultats de l'étude permettront de renforcer la résilience des producteurs de riz pluvial aux variations climatiques en faisant le bon choix du calendrier culturel ainsi que celui des variétés du riz pluvial.

## MATERIEL ET METHODES

### Milieu d'étude

L'étude a été conduite dans les communes de Malanville, Tanguiéta et Glazoué appartenant respectivement aux zones agro-écologiques (ZAE) soudano-sahélienne à l'extrême

Nord, soudanienne au Nord-Ouest et soudano-guinéenne de transition (Figure 1). De 2010 à 2014, ces localités avaient enregistré les taux de productions les plus élevées de riz au Bénin et représentaient 75% de la production nationale (MAEP, 2015). Pendant la même période, les productions de riz à Malanville, Glazoué et Tanguiéta occupaient respectivement 71, 44 et 19% des productions rizicoles totales de leurs ZAEs respectives. Les données pluviométriques utilisées ont été celles des stations pluviométriques de Malanville, de Savè et de Tanguiéta respectivement pour les communes de Malanville, de Glazoué et de Tanguiéta. En effet, l'Agence Météorologique du Bénin ne dispose pas de station pluviométrique à Glazoué. Les données de la station de Savè plus proche de Glazoué ont été donc considérées. Le régime de précipitation était de type bimodal à Glazoué et unimodal à Malanville et à Tanguiéta (Figure 2).

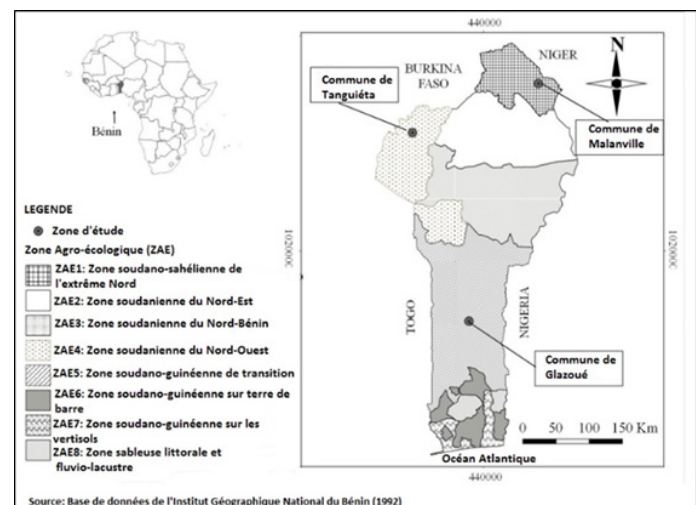


Figure 1 : Localisation des communes sélectionnées pour l'étude

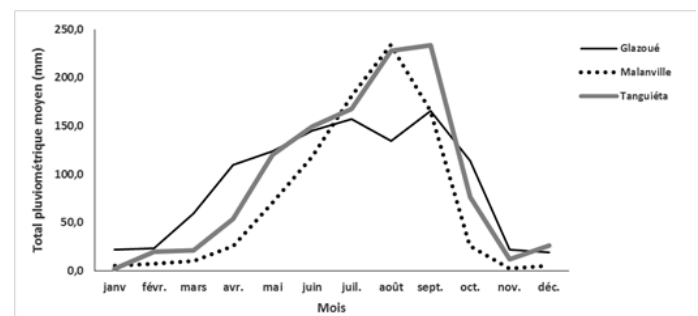


Figure 2 : Evolution des totaux pluviométriques moyens mensuels sur la période 1970-2016

### Matériel végétal

Au Bénin, plusieurs variétés sont utilisées par les producteurs de riz pluvial (ADRAO, 2008; CCR-B, 2012). Pour une variété de riz pluvial donnée (Tableau I), le cycle de développement peut varier entre 100 et 130 jours (FAO, 1997).

Tableau I : Différentes phases de développement des variétés de riz pluvial

	Cycle 100	Cycle 120	Cycle 130
Phase végétative (jours)	40	55	65
Phase de reproduction (jours)	35	35	35
Phase de maturation (jours)	25	30	30
<b>Durée totale de la croissance (jours)</b>	<b>100</b>	<b>120</b>	<b>130</b>

Source: FAO (1997)

**Collecte des données pluviométriques**

La collecte des données pluviométriques a pris en compte deux critères fondamentaux à savoir la longueur des chroniques (au moins 30 ans) et la qualité des données. La variabilité climatique s'apprécie sur une période de 30 ans au moins (Bambara et al., 2016). Ainsi, les données pluviométriques journalières de Malanville, de Savè et de Tanguiéta sur une période de 46 ans (1970-2016) ont été obtenues auprès de l'Agence Météorologique du Bénin.

**Traitement et analyse des données**

**Détermination de la date du début, de la fin des pluies et du total pluviométrique**

**Début et fin des pluies**

Sur la base des travaux de Kumi & Abiodun (2018), des considérations suivantes ont été faites pour définir le début des pluies :

-La pluie devrait démarrer à partir des 1<sup>er</sup> mai (Malanville et Tanguiéta) et 1<sup>er</sup> avril à Glazoué (Boko, 1992) ;

-Une hauteur de pluie d'au moins 25 mm enregistrée sur cinq jours avec au moins deux jours pluvieux non suivis de poche de sécheresse de plus de sept jours sur un intervalle de temps de 30 jours après les 1<sup>er</sup> mai (Malanville et Tanguiéta) et 1<sup>er</sup> avril à Glazoué.

La fin des pluies a été considérée à partir du 1<sup>er</sup> septembre à Malanville et à Tanguiéta et du 1<sup>er</sup> octobre à Glazoué (Boko, 1992). Les paramètres de statistiques descriptives (moyenne, minimum, maximum et coefficient de variation) ont été déterminées au début et à la fin, pour la longueur et le total pluviométrique saisonniers au moyen du logiciel de statistique INSAT, version 3.36 (Stern et al., 2006) en fixant la réserve hydrique du sol à 100 mm (Akinseye et al., 2016). Des analyses fréquentielles utilisant les quintiles 20, 50 et 80% ont été utilisées sur les valeurs des débuts et fins des pluies, de la longueur et du total pluviométrique (Sarr et al., 2011).

**Durée de la saison des pluies et total pluviométrique**

La durée de la saison des pluies représente la différence entre les dates du début et de la fin des pluies (Stern et al., 1982 ; Sivakumar, 1988 ; Kniveton et al., 2008 ; Sarr et al., 2011). Le total pluviométrique est la quantité totale de pluies entre les dates du début et de fin des pluies (Sarr et al., 2011). Le logiciel R version 3.6.1. (R Core Team, 2019) a permis d'analyser les données des tendances des débuts et fins des pluies, de la longueur et du total pluviométrique. Le seuil de signification  $\alpha = 0,05$  a été considéré.

**Probabilités d'apparition des séquences sèches**

Selon la chaîne de Markov d'ordre 1, l'état  $Y_t$  de la journée  $t$  ( $t > 0$ ) dépend de l'état  $Y_s$  ( $s < t$ ) de la journée précédente (Fischer et al., 2013 ; Ojara et al., 2019). Dans l'analyse des séquences sèches, un jour est considéré soit pluvieux (P) ou sec (S). La chaîne de Markov d'ordre 1 est décrite par la matrice suivante (Equation 1) :

$$\begin{bmatrix} & S & P \\ S & P_{00} & P_{01} \\ P & P_{10} & P_{11} \end{bmatrix}$$

où  $P_{00}$ ,  $P_{01}$ ,  $P_{10}$  et  $P_{11}$  sont les probabilités respectives d'un jour sec précédé par un jour sec ; d'un jour pluvieux précédé par un jour sec ; d'un jour sec précédé par un jour pluvieux ; et d'un jour pluvieux précédé par un jour pluvieux.

En utilisant, le modèle d'une distribution géométrique (Mathugama & Peiris, 2011 ; Fischer et al., 2013) et en considérant l'Equation 1, la probabilité de survenue de séquence sèche de  $n$  jours peut être déduite à travers la formule (Equation 2) ci-dessous :

$$P_n(SS > n) = P_{00}^{n-1}P_{01} = P_{00}^{n-1}(1 - P_{00})$$

Le nombre ( $n$ ) de jours de séquence sèche est choisi en fonction des besoins et objectifs de l'étude (Stern et al., 2006).

Les séquences sèches  $> 5, 7$  et  $10$  jours ont été considérées en phases végétative et reproductive en simulant des semis de riz pluvial réalisés tous les sept (7) jours. Le semis est réalisé lorsque la probabilité de survenue des séquences sèches  $> 10$  jours est  $\leq 0,2$  (Stern et al., 2006). Les dates de semis coïncidant avec les probabilités  $\leq 0,1$  de survenue des séquences sèches  $> 7$  jours en floraison du riz permettent de définir les dates favorables aux semis du riz pluvial (Stern et al., 2006 ; Sarr et al., 2011).

**Evaluation des tendances**

De nombreuses études ont recommandé la vérification de l'autocorrélation au sein des séries historiques climatologiques (Hamed & Rao, 1998 ; Akinsanola & Ogunjobi, 2015). Pour évaluer les tendances, en absence d'autocorrélation, le test non-paramétrique de Mann-Kendall est utilisé (Akinsanola & Ogunjobi, 2015) et celui de Mann-Kendall modifié est employé en présence d'autocorrélation (Akinsanola & Ogunjobi, 2015).

**Vérification de l'autocorrélation (test d'indépendance)**

La formule d'estimation de l'autocorrélation d'une série chronologique comportant  $n$  observations ( $n > 30$ ) (Dodge, 2003) est la suivante (Equation 3):

$$\hat{A}_k = \frac{(\sum_{t=k+1}^n (y_t - \bar{Y})(y_{t-k} - \bar{Y}))}{(\sum_{t=1}^n (y_t - \bar{Y})^2)}$$

où  $\bar{Y}$  = moyenne de la série ;  $k$  = décalage et  $n$  = nombre d'observations.

Pour  $n > 30$ ,  $\hat{A}_k$  tend de manière asymptotique vers une loi normale de moyenne 0 et d'écart type :  $\frac{1}{\sqrt{n}}$ .

$\hat{A}_k$  est donc assimilée au test  $t$  de Student.

Pour un décalage  $k = 1$ , le test  $t$  d'autocorrélation se présente comme suit (Akinsanola & Ogunjobi, 2015) (Equation 4):

$$t = \frac{\hat{A}_1}{\sqrt{(n-2)/(1-\hat{A}_1^2)}}$$

où  $t$  suit une distribution de Student avec  $(n-2)$  degrés de liberté. Si  $|t| \geq t_{\alpha/2}$ , alors l'hypothèse nulle énonçant l'indépendance entre les valeurs de la variable est donc rejetée au seuil  $\alpha$ .

**Test de Mann-Kendall**

La statistique  $S$  du test (Mann, 1945 ; Kendall, 1975) est la suivante (Equation 5) :

$$s = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(X_j - X_i)$$

où  $n$  = nombre d'observations ;  $X_i$  et  $X_j$  ( $j > i$ ) = valeurs génériques de données séquentielles ; et  $\text{Sgn}(X_j - X_i)$  = signe de la fonction, définie comme suit (Equation 6):

$$\text{Sgn}(X_j - X_i) = \begin{cases} +1 & \text{si } (X_j - X_i) > 0 \\ 0 & \text{si } (X_j - X_i) = 0 \\ -1 & \text{si } (X_j - X_i) < 0 \end{cases}$$

Lorsque  $n \geq 40$ ,  $S$  suit approximativement une distribution normale avec une moyenne  $E(S)$  et une variance  $\text{Var}(S)$  (Akinsanola & Ogunjobi, 2015). L'espérance mathématique  $E(S)$  (Equation 7) et

la variance  $\overline{\text{Var}}(S)$  (Equation 8) sont définies comme suit :

$$E(S) = 0$$

$$\overline{\text{Var}}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q tp(tp-1)(2tp+5)}{18}$$

où  $n$  = nombre d'observations;  $q$  = nombre de groupes ayant des valeurs égales et  $tp$  = nombre de valeurs dans le  $p^{\text{ième}}$  groupe.

La  $\overline{\text{Var}}(S)$  (Equation 8) et la statistique  $S$  (Equation 5) permettent de calculer la variable  $Z$  définie comme suit

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\overline{\text{Var}}(S)}} & \text{si } S > 0 \\ 0 & \text{si } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\overline{\text{Var}}(S)}} & \text{si } S < 0 \end{cases}$$

$Z$  suit une distribution normale.  $Z > 0$  et  $Z < 0$  indiquent respectivement des tendances croissante et décroissante.

### Test de Mann-Kendall modifié

La valeur  $\hat{A}k$  (Equation 3) est utilisée pour déterminer le facteur de correction ( $n/n_s^*$ ) de la variance, puisque la  $\overline{\text{Var}}(S)$  (Equation 8) a été sous-estimée en présence d'autocorrélation. La formule du facteur d'autocorrélation est (Equation 10):

$$\frac{n}{n_s^*} = 1 + \frac{2}{n(n-1)(n-2)} \sum_{k=1}^{n-1} (n-k)(n-k-1)(n-k-2) \hat{A}k$$

où  $n$  = nombre d'observations;  $n_s^*$  = nombre d'observations comptant pour l'autocorrélation et  $\hat{A}k$  = fonction d'autocorrélation des rangs d'observation. La formule de la variance corrigée est (Equation 11) :

$$\overline{\text{Var}}^*(S) = \overline{\text{Var}}(S) \times \frac{n}{n_s^*}$$

En considérant la  $\overline{\text{Var}}^*(S)$ , le test statistique de  $Z$  est déterminé suivant la formule de l'Equation 9.

### Estimation de la pente de la tendance

La méthode de la pente de Sen (Sen, 1968) est une robuste estimation de l'ampleur de la pente de la tendance. Elle est déterminée en supposant que la tendance est linéaire suivant l'équation (Equation 12) :

$$f(t) = Qt + B$$

où  $f(t)$  = fonction croissante ou décroissante dans le temps;  $Q$  = pente et  $B$  = ordonnée à l'origine (constant).

L'estimateur de la pente de Sen pour chaque donnée est (Equation 13):

$$Q_i = \left[ \frac{(X_i - X_j)}{(j - i)} \right]$$

où  $X_i$  et  $X_j$  ( $j > i$ ) = valeurs de données séquentielles respectivement aux temps  $i$  et  $j$ .

La présence de  $n$  valeurs  $X_i$  dans la série chronologique indique qu'il existe autant de  $N = \frac{n(n-1)}{2}$  estimateurs de la pente de Sen.

Ainsi, la valeur de  $Q_i$  est rangée du plus petit au plus grand et la médiane  $Q_{med}$  représente la pente de Sen (Equation 14):

$$Q_{med} = \begin{cases} Q_{\left[\frac{(N+1)}{2}\right]} & \text{si } N \text{ est impairs} \\ \frac{1}{2} \left( Q_{\left[\frac{N}{2}\right]} + Q_{\left[\frac{(N+2)}{2}\right]} \right) & \text{si } N \text{ est pairs} \end{cases}$$

Les médianes  $Q_{med} > 0$  et  $Q_{med} < 0$  indiquent des tendances croissante et décroissante.

### Taux de variation de la pente de Sen

Le taux de variation de la pente de Sen permet de comparer les tendances entre différentes conditions météorologiques

(Akinsanola & Ogunjobi, 2015). Il est égal à la médiane  $Q_{med}$  multipliée par le nombre ( $n$ ) d'observations, le tout divisé par la moyenne des valeurs de la série. Le taux de variation de la pente de Sen (Akinsanola & Ogunjobi, 2015) est (Equation 15) :

$$\text{Taux de variation (\%)} = \frac{Q_{med} \cdot n}{\mu} * 100$$

où  $Q_{med}$  = pente de Sen ;  $n$  = nombre d'observations et  $\mu$  = moyenne des valeurs de la série.

## RESULTATS

### Variabilités et tendances des débuts et fins des pluies et du total pluviométrique

Les débuts des pluies ont présenté des coefficients de variation de 15% à Malanville, 16% à Tanguiéta et 29% à Glazoué (Tableau II). En moyenne, les débuts des pluies sont situés à partir des 20 mai à Tanguiéta, 12 juin à Malanville et 29 mai à Glazoué. Les fins des pluies ont présenté des coefficients de variation de 2% à Glazoué, 4% à Malanville et 5% à Tanguiéta. Les coefficients de variation des totaux pluviométriques saisonniers sont de 18% à Tanguiéta, 30% à Glazoué et 31% à Malanville (Tableau II). Les longueurs de la saison des pluies ont présenté des coefficients de variation de 16% à Tanguiéta, 22% à Glazoué et 26% à Malanville (Tableau II). Il a été observé les longueurs minimales de 32, 49 et 80 jours et les totaux pluviométriques de 143 mm, 203 mm et 532 mm respectivement, dans les communes de Malanville, Glazoué et Tanguiéta (Tableau II).

CV : coefficient de variation

Tableau II : Statistiques descriptives des paramètres agro-météorologiques												
Paramètres météorologiques	agro-Communes	Minimum	Maximum	Moyenne	CV (%)	Percentile			Skewness	Kurtosis		
						20%	50%	80%				
Dates du début des pluies (jours)	Tanguiéta	01-mai	30-juin	20-mai	16,3	05-mai	17-mai	03-juin	1,9	4,9		
	Malanville	07-mai	15-juillet	12-juin	15,0	27-mai	16-juin	11-juil	0,6	-0,3		
	Glazoué	01-avr	16-juin	29-mai	29,0	10-avr	26-avr	04-juin	1,6	2,4		
Dates de la fin des pluies (jours)	Tanguiéta	01-sept	20-nov	25-oct	4,9	20-oct	27-oct	04-nov	-2,1	6,6		
	Malanville	01-sept	26-oct	10-oct	4,1	06-oct	12-oct	17-oct	-1,9	3,8		
	Glazoué	01-nov	23-nov	05-nov	2,1	01-nov	02-nov	11-nov	1,5	0,9		
Totaux pluviométriques (mm)	Tanguiéta	531,8	1279,1	907,3	17,7	780,7	916,9	1042,6	-0,1	0,11		
	Malanville	143,3	1335,3	662,4	31,0	521	680,4	785,6	-0,1	2,4		
	Glazoué	203,6	1308,3	843,5	29,5	690,4	887,9	1044,6	-0,6	0,3		
Longueurs de la saison des pluies (jours)	Tanguiéta	80,0	197,0	154,7	15,5	133,4	159,5	174,6	-1,1	1,2		
	Malanville	32,0	162,0	114,0	25,9	77,6	92,6	138,0	-0,8	1,0		
	Glazoué	49,0	234,0	180,1	22,2	156,0	192,0	211,4	-1,5	2,4		

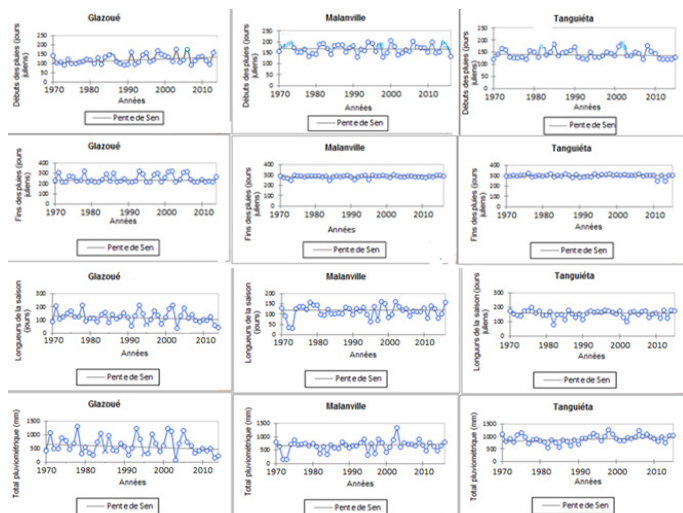
Les tendances des débuts des pluies ont indiqué une croissance non significative de 17% à Glazoué et une décroissance non significative de 4% à Malanville et Tanguiéta (Tableau III et Figure 3). Les tendances des fins des pluies ont été croissantes

pour les trois communes (Tableau III et Figure 3).

**Tableau III : Résultats des tests de tendance de Mann-Kendall et de Mann-Kendall modifié sur les paramètres agro-météorologiques**

	Tanguiéta		Malanville		Glazoué	
	Taux de variation de la pente (%)	de Valeur de Z	Taux de variation de la pente (%)	de Valeur de Z	Taux de variation de la pente (%)	de Valeur de Z
Dates du début des pluies (jours)	-4,41	-7,22 ns	-3,88	-0,33 ns	17,10	1,51 ns
Dates de la fin des pluies (jours)	1,18	<b>0,92 ns</b>	1,62	1,17 ns	0,00	1,70 ns
Totaux pluviométriques (mm)	18,64	0,14 ns	12,24	1,19 ns	-7,86	<b>-1,65 ns</b>
Longueurs de la saison des pluies (jours)	1,98	0,30 ns	6,01	0,45 ns	-8,51	-0,91 ns

Valeurs de Z en gras indiquent la présence d'auto-corrélation au sein de la série chronologique ; valeurs positives/négatives de Z indiquent une tendance en hausse/baisse ; ns indique la non-significativité au seuil  $\alpha$  de 5%

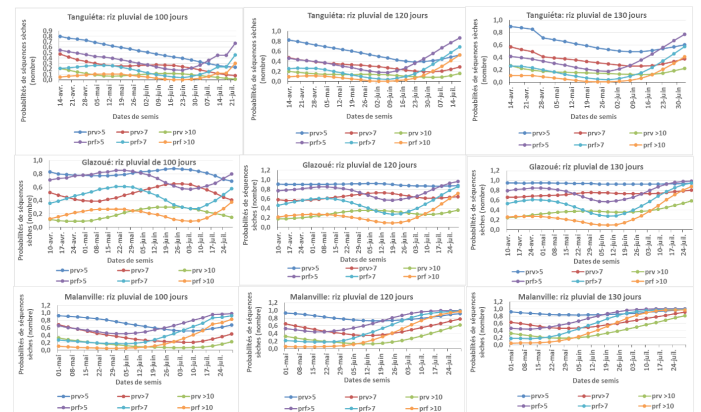


**Figure 3 :** Tendances des débuts, fins, longueurs et totaux pluviométriques de la saison des pluies au cours de la période 1970-2016

**Séquences sèches et dates favorables aux semis des variétés du riz pluvial**

A Tanguiéta, les dates de semis du riz pluvial sont situées entre : 3 juin au 3 juillet pour les variétés de 100 jours ; 19 mai au 18 juin pour les variétés de 120 jours et 9 mai au 8 juin pour les variétés de 130 jours (Figure 4). Ces dates de semis identifiées coïncident toutes avec des probabilités  $\leq 0,1$  des séquences sèches  $> 7$  jours au cours de la floraison du riz pluvial (Figure

4). A Glazoué, le riz peut être semé entre : 10 avril et 25 mai ou du 14 au 29 juillet pour les variétés de 100 jours ; 10 avril et 5 mai pour les variétés de 120 jours et seulement le 10 avril pour les variétés de 130 jours (Figure 4). A Malanville, le riz pluvial peut être semé du 16 mai au 15 juin pour les variétés de 100 jours, du 11 au 31 mai pour les variétés de 120 jours et du 16 au 21 mai pour les variétés de 130 jours (Figure 4). Au niveau des communes de Malanville et de Glazoué, les dates de semis obtenues coïncident toutes avec des valeurs de probabilité oscillant entre 0,2 et 0,6 des séquences sèches  $> 7$  jours au cours de la floraison du riz pluvial. Pour ces dates de semis, les probabilités des séquences sèches  $> 5$  jours ont varié entre 0,7 et 1 au cours de la floraison des variétés de riz pluvial.



**Figure 4 :** Evolution des séquences sèches au cours des phases végétative et de floraison du riz pluvial suivant différentes dates de semis

**Légende**

- prv > 5 : probabilités de survenue des séquences sèches  $> 5$  jours à la phase végétative ;
- prf > 5 : probabilités de survenue des séquences sèches  $> 5$  jours à la phase de floraison ;
- prv > 7 : probabilités de survenue des séquences sèches  $> 7$  jours à la phase végétative ;
- prf > 7 : probabilités de survenue des séquences sèches  $> 7$  jours à la phase de floraison ;
- prv > 10 : probabilités de survenue des séquences sèches  $> 10$  jours à la phase végétative ;
- prf > 10 : probabilités de survenue des séquences sèches  $> 10$  jours à la phase de floraison.

**DISCUSSION**

Les résultats de l'étude montrent que les débuts des pluies, les longueurs et les totaux pluviométriques connaissent une grande variabilité. De 1970 à 2016, les tendances des débuts de pluies, ont indiqué que les pluies sont de plus en plus tardives à Glazoué et de plus en plus précoces à Malanville et Tanguiéta. Les débuts des pluies ont été plus tardifs dans les régions du centre (Glazoué) que dans les régions septentrionales (Malanville Tanguiéta) au cours des dernières décennies au Bénin (MCVDD, 2019). Lawin et al. (2011) ont détecté au Bénin un décalage de plus de 18 jours des pics de précipitations après le début de l'année 1970. Ezin et al. (2018) ont identifié un retard dans l'installation des pluies dans les régions du centre Bénin (Glazoué) au cours de la période 1970-2010. Kniveton et al. (2008) ont révélé une précocité et un retard des débuts de pluies dans certaines régions d'Afrique de l'Ouest, du Nord et de l'Est au cours de la période 1978-2002. Ces résultats confirment les études antérieures qui indiquent qu'au cours des dernières années (1970-2015), les débuts des pluies sont devenus encore plus imprévisibles pour les producteurs de riz pluvial en Afrique qu'autrefois (1921-1970) (Van Diepen & Azontonde 1979 ; Atidegla et al., 2017 ; Nyadzi et al., 2019). La variabilité des débuts des pluies cause d'énormes préjudices à la productivité du riz pluvial en Afrique (Kouakou et al., 2013 ; Niang et al., 2018 ; Arouna et al., 2021). Le retard des débuts des

pluies a entraîné la baisse de moitié des rendements grains de NERICA 1 et NERICA 4, passant de 1065-1466 kg.ha<sup>-1</sup> en 2013 à 544-665 kg.ha<sup>-1</sup> en 2014 à la station de recherche de l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles de Sinthiou Malème (Kouakou et al., 2016). De 1970 à 2016, les tendances des fins des pluies sont de plus en plus tardives pour les trois communes. Les longueurs et les totaux pluviométriques minimaux saisonniers obtenus indiquent que ces derniers ne sont pas toujours favorables à la production du riz pluvial. En effet, Ingram (1993) a montré qu'en fonction du climat, les besoins totaux en eau du riz pluvial varient entre 700 à 800 mm pour une durée du cycle de 130 jours.

Par rapport aux séquences sèches et dates favorables aux semences du riz pluvial, à Tanguiéta, les résultats indiquent que les dates : 3 juin au 3 juillet ; 19 mai au 18 juin et 9 mai au 8 juin sont favorables aux semences respectivement des variétés de riz pluvial de 100, 120 et 130 jours. Il ressort également que les dates 3 au 8 juin restent très favorables aux semences du riz pluvial, car les trois groupes de variétés peuvent être semés au même moment dans cet intervalle de temps. Ces dates coïncident toutes avec des probabilités  $\leq 0,1$  de survenue des séquences sèches  $> 7$  jours au cours de la floraison du riz pluvial. Ces résultats d'une part, confirment les tendances croissantes obtenues sur les longueurs et totaux pluviométriques saisonniers et d'autre part, indiquent une bonne répartition temporelle des pluies au cours des phases de développement du riz pluvial. En semant à ces dates, les probabilités de survenue des séquences sèches  $> 5$  jours sont également faibles et oscillent entre 0,2 et 0,3 et celles des séquences sèches  $> 10$  jours sont nulles au cours de la floraison des trois groupes de variétés.

Ces résultats ont montré aucune date favorable pour les semis du riz pluvial à Malanville et Glazoué car les dates de semis bien que favorables à la phase végétative ne garantissent pas un bon développement du riz pluvial à la phase de floraison. En effet, les dates favorables aux semis doivent coïncider avec des probabilités  $\leq 0,1$  des séquences sèches  $> 7$  jours au cours de la floraison (Sarr et al., 2011). La sécheresse finale au cours de cette phase critique du riz pluvial inhibe la floraison et impacte directement le développement des panicules et le remplissage des grains (FAO, 1997 ; Niang et al., 2018). Dans la commune de Glazoué, ces résultats confirment entre autres les tendances décroissantes non significatives de 8 et 9% observées respectivement au niveau des totaux pluviométriques et des longueurs de la saison pluvieuse. En effet, les probabilités de survenue des séquences sèches  $> 5$ , 7 et 10 jours vont s'amplifier davantage lorsque les tendances décroissantes observées au niveau des totaux pluviométriques et des longueurs des saisons pluvieuses se maintiennent et se poursuivent dans le temps, ce qui risque de compromettre la productivité du riz pluvial dans cette localité du Bénin. Ces résultats confirment les travaux de Niang et al. (2018) qui ont démontré que le rendement en grain de riz pluvial est affecté par la variabilité des totaux pluviométriques annuels dans la commune de Glazoué. En revanche, à Malanville, les résultats relatifs à l'occurrence des séquences sèches semblent être contraires aux tendances croissantes observées à la fois sur les longueurs et totaux pluviométriques saisonniers. Cette situation pourrait expliquer par une mauvaise répartition temporelle de la pluie au cours de la phase de floraison du riz pluvial. La répartition des pluies impacte plus la productivité du riz pluvial que les totaux pluviométriques

annuels (Kouakou et al., 2013 ; Niang et al., 2018 ; Arouna et al., 2021), corrobore les travaux de Bouraima et al. (2015) qui ont signalé le besoin d'un complément de 383 mm d'eau sous forme d'irrigation en saison pluvieuse pour combler les déficits hydriques au cours du développement du riz pluvial dans la commune de Malanville. Par ailleurs, de nombreuses études ont déjà révélé la perturbation des calendriers agricoles au Bénin, du fait de la variabilité et du changement climatiques (Tidjani & Akponikpe, 2012 ; Atidegla et al., 2017 ; MCVDD, 2019).

Une bonne connaissance, à la fois des débuts et fins des pluies et des risques éventuels de séquences sèches, permet de mieux situer les dates favorables au semis du riz pluvial. La culture du riz pluvial étant fortement tributaire du climat, ces informations sont capitales et nécessaires pour guider les producteurs dans le choix de la date de semis et la décision de semer telles ou telles variétés de riz pluvial. En effet, dans les communes de Malanville et de Glazoué, le fait de ne pas pouvoir trouver une date favorable aux semences du riz pluvial, n'implique pas forcément une disparition de cette culture dans ces deux localités qui demeurent de fortes zones de production du riz au Bénin. Cette étude ayant pris en compte seulement l'interaction de la variabilité pluviométrique et la production du riz pluvial, il se peut qu'en condition d'apport d'eau par irrigation, d'autres facteurs climatiques notamment la température, l'insolation et l'humidité relative de l'air devraient favoriser le développement de cette culture dans ces localités. En revanche, ces résultats révèlent plutôt que le choix variétal, surtout pour la notion de précocité, devra jouer un rôle très important en riziculture pluviale dans le contexte actuel des changements climatiques. Il convient de noter que les riziculteurs du Bénin courront moins de risques en optant pour la production des variétés à cycle court  $< 100$  jours. En zone soudano-sahélienne au Sénégal, Kouakou et al. (2016) ont fortement recommandé l'utilisation des variétés précoces de 75-85 jours afin de garantir les rendements de la culture du riz pluvial dans le contexte des changements climatiques.

## CONCLUSIONS

Cette étude a montré que les débuts des pluies, les longueurs et les totaux pluviométriques saisonniers ont connu une variabilité spatio-temporelle qui n'est pas toujours favorable à la production du riz pluvial au Bénin. A Tanguiéta, les dates favorables aux semences du riz pluvial vont du 3 juin au 3 juillet ; du 19 mai au 18 juin et du 9 mai au 8 juin, respectivement pour les variétés de 100, 120 et 130 jours. En revanche, l'étude n'a révélé aucune date favorable pour les semences de riz pluvial à Malanville et Glazoué, car les dates de semis bien que favorables à la phase végétative ne garantissent pas un bon développement du riz pluvial à la phase de floraison. En effet, les séquences sèches ( $> 5$  et 7 jours) très présentes surtout à la phase de floraison, sont très préjudiciables au développement du riz pluvial dans ces deux localités. Appliquée à un échantillon représentatif ( $n \geq 40$ ) de pluviométries journalières utilisant différentes séquences sèches ( $> 5$ , 7 et 10 jours), la chaîne de Markov d'ordre 1 s'avère être un bon outil théorique d'identification des dates de semis et d'évaluation du rythme pluviométrique au cours des différentes phases de développement d'une culture donnée. Les résultats suggèrent que les riziculteurs courront moins de risques en optant pour la production des variétés à cycle court  $< 100$  jours. Ces résultats peuvent également guider les décideurs notamment les autorités locales, nationales et les

partenaires au développement dans le choix ainsi que dans l'élaboration des politiques d'aide aux petits riziculteurs. De nos investigations, il ressort de nouvelles pistes de recherche sur les perceptions et stratégies d'adaptation des riziculteurs face à la variabilité et au changement du climat.

### Remerciements

Nous remercions le Directeur Général de l'Agence Météorologique du Bénin et le Directeur Général de l'Environnement et du Climat pour avoir facilité la mise à disposition des données pluviométriques dans le cadre de cette étude. De même, nous adressons nos sincères remerciements à l'Université de Gand (UGENT) qui a financièrement soutenu l'étude sous le code de la bourse : 01W00414 ainsi qu'à la Fondation Internationale pour la Science pour leur contribution financière sous l'accord de subvention N° C/5762-1 au premier auteur. Enfin, un remerciement particulier aux deux relecteurs anonymes de la Revue Africaine et Malgache de Recherches Scientifiques (RAMRes)/Sciences de la Vie, de la Terre et Agronomie.

### Références

- ADRAO (2008). Guide pratique de la culture des NERICA de plateau. Cotonou, Bénin : Centre du riz pour l'Afrique (ADRAO). 36 pp.
- Akinsanola A.A., and Ogunjobi K.O. (2015). Recent homogeneity analysis and long-term spatio-temporal rainfall trends in Nigeria. *Theoretical and Applied Climatology*, 1-15. DOI: 10.1007/s00704-015-1701-x.
- Akinseye F.M., Agele S.O., Traore P.C.S., Adam M., and Whitbread A.M. (2016). Evaluation of the onset and length of growing season to define planting date—« a case study for Mali (West Africa) ». *Theoretical and Applied Climatology*, 124, 973-983.
- Arouna A., Fatognon I.A., Saito K., and Futakuchi K. (2021). Moving toward rice self-sufficiency in sub-Saharan Africa by 2030: lessons learned from 10 years of the Coalition for African Rice Development. *World Development Perspectives*, 21. <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.
- Atidegla C.S., Koumassi H.D., Mouzoue E.T., and Houssou E. (2017). Variabilité climatique et production du riz dans le bas-fond de Dokomey au Bénin. *Journal de la Recherche Scientifique de l'Université de Lomé*, 19(2 - Spécial), 259-276.
- Bambara D., Thiombiano A., and Hien V. (2016). Changements climatiques en zones nord-soudanienne et sub-sahélienne du Burkina-Faso : comparaison entre savoirs paysans et connaissances scientifiques. *Revue d'Ecologie (Terre et Vie)*, 7(1), 35-58.
- Boko M. (1992). Saisons et types de temps au Bénin: analyse objective et perceptions populaires. *L'Espace géographique*, 21(4), 321-332.
- Bouraima A-K., Weihua Z., and Chaofu W. (2015). Irrigation water requirements of rice using Cropwat model in Northern Benin. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 8 (2), 56-64.
- CCR-B (2012). Rapport technique d'activités, Mai 2009-Avril 2012. Secrétariat Permanent, 43p.
- Dodge Y. (2003). Statistique dictionnaire encyclopédique. Groupe statistique, Université de Neuchâtel, Espace de l'Europe 4, Case postale 805, 2002 Neuchâtel, Suisse.
- Dossouhoui V.F. (2019). Développement d'un secteur semencier intégré aux chaînes de valeur du riz local au Bénin, thèse de doctorat (PhD), Université de Liège -Gembloux Agro-Bio Tech, Gembloux, 230p.
- Ezin V., Yabi I., Kochoni E.G.M., and Ahanchédé A. (2018). Agriculture and food security under climate change threat in Benin. *African Journal of Agricultural Research*, 13(27), 1389-1399.
- FAO (1997). Systèmes améliorés de riziculture pluviale. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Fischer B.M.C., Mul M.L., and Savenije H.H.G. (2013). Determining spatial variability of dry spells : a Markov-based method, applied to the Makanya catchment, Tanzania. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17, 2161-2170.
- Hamed K.H., and Rao R. (1998). A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. *Journal of Hydrology*, 204(1-4), 182-196.
- Ingram K.T. (1993). Water relations in the soil-plant-atmosphere continuum. Background paper for irrigation water management training course. IRRI. Philippines.
- Kendall M.G. (1975). Rank Correlation Methods. Charles Griffin, London.
- Kayodé A.P.P. (2018). Adoption de variétés de sorgho résilientes aux changements climatiques au Bénin, CTA, Wageningen, les Pays-Bas.
- Korres N.E., Norsworthy J.K., Burgos N.R. & Oosterhuis D.M., 2017. Temperature and drought impacts on rice production: an agronomic perspective regarding short-and long-term adaptation measures. *Water Resources and Rural Development*, 9, 12-27.
- Kouakou K.E., Kouassi A., Kouassi F.W., Goula B.T.A., and Savane I. (2013). Détermination des périodes optimales de semis du riz pluvial au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 3 (3), 719-726.
- Kouakou K.P-M., Muller B., Fofana A., and Guisse A. (2016). Performances agronomiques de quatre variétés de riz pluvial NERICA de plateau semées à différentes dates en zone soudano-sahélienne au Sénégal. *Journal of Applied Biosciences*, 99, 9382-9394.
- Kniveton D.R., Layberry R., Williams C.J.R., and Peck M. (2008). Trends in the start of the wet season over Africa. *International Journal of Climatology*, DOI: 10.1002/joc.1792.
- Kumi N., and Abiodun B.J. (2018). Potential impacts of 1.5 °C and 2 °C global warming on rainfall onset, cessation and length of rainy season in West Africa. *Environmental Research Letters*, 13, 055009.
- Laux P., Kunstmann H., and Bardossy A. (2008). Predicting the regional onset of the rainy season in West Africa. *International Journal of Climatology*, 28, 329-342.
- Lawin A.E., Afouda A., and Lebel T. (2011). Analyse de la variabilité du régime pluviométrique dans la région agricole d'Ina au Bénin. *European Journal of Operational Research*, 50 (3), 445-439.
- MAEP (2015). Production, superficie et rendements de riz du Bénin au cours de la période 2010 à 2014. Ministère de l'Agriculture de l'Élevage et de la Pêche, Direction des Statistiques Agricoles du Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche, Cotonou, Bénin.
- MAEP (2017). Plan Stratégique de Développement du Secteur Agricole (PSDSA) 2025 et Plan National d'Investissements

- Agricoles et de Sécurité Alimentaire et Nutritionnelle PNIASAN 2017-2021, version finale mai 2017. Ministère de l'Agriculture de l'Élevage et de la Pêche 139p.
- Mann H.B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13, 245-259.
- Mathugama S.C., and Peiris T.S.G. (2011). Critical evaluation of dry spell research. *International Journal of Basic and Applied Sciences*, 11 (06), 153-160.
- MCVDD (2019). Troisième Communication Nationale (TCN) sur les changements climatiques. Ministère du Cadre de Vie et du Développement Durable, Cotonou, Bénin, 354p.
- Niang A., Becker M., Ewert F., Tanaka A., Dieng I., and Saito K. (2018). Yield variation of rainfed rice as affected by field water availability and N fertilizer use in central Benin. *Nutr Cycl Agroecosyst*, 110, 293-305.
- Nyadzi E., Werners E.S., Biesbroek R., Long P.H., Franssen W., and Ludwig F. (2019). Climate forecast toward hydroclimatic information Needs of rice farmers in Northern Ghana. *Weather, Climate, and Society*, 11 (1), 127-142.
- Ojara M.A., Lou Y., Aribo L., Namumbya S., and Uddin M.D.J. (2019). Dry spells and probability of rainfall occurrence for Lake Kyoga Basin in Uganda, East Africa. *Nat Hazards* <https://doi.org/10.1007/s11069-019-03822-x>.
- R Core Team (2019). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Sarr B., Kafando L., and Atta S. (2011). Identification des risques climatiques de la culture du maïs au Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 5 (4), 1659-1675.
- Sen P.K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63, 1379-1389.
- Serpantié G., Doré A., Fusillier J-L., Moity-Maizi P., Lidon B., Douanio M., Sawadogo A., Bossa A.Y., and Hounkpè J. (2019). Nouveaux risques dans les bas-fonds des terroirs soudaniens. Une étude de cas au Burkina Faso. *Cahiers Agricultures*, 28 (19), 2-10.
- Sivakumar M.V.K. (1988). Predicting rainy season potential from the onset of rains in southern sahelian and sudanian climatic zones of west Africa. *Agricultural and Forest Meteorology*, 42, 295-305.
- Stern R.D., Dennett M.D., and Dale I.C. (1982). Analysing daily rainfall measurements to give agronomically useful results. I. Direct methods. *Experimental Agriculture*, 18, 223-236.
- Stern R., Rijks D., Dale I., and Knock J. (2006). INSTAT+ for Windows V 3.036. Statistical Services Center, University of Reading.
- Tidjani M.A., and Akponikpe P. (2012). Evaluation des stratégies paysannes d'adaptation aux changements climatiques : cas de la production du maïs au nord-Bénin. *African Crop Science Journal*, 20, (Issue Supplement s2), 425-441.
- Van Diepen C.A., and Azontonde A.H. (1979). Détermination des dates de semis basée sur l'analyse fréquentielle de la pluviométrie décadaire au Bénin, Projet d'Agro-Pédologie, Etude N°208, 100p.